

清华足球丛书
清华大学体育部中国足球发展研究中心

THE SCIENCE
OF SOCCER

足球的科学

[英] John Wesson 著

清华大学物理系学生足球队 译

葛惟昆 葛澄 审校

清华大学出版社

CRC Press
Taylor & Francis Group

足球的科学

[英] John Wesson 著

清华大学物理系学生足球队 译

葛惟昆 葛澄 审校



THE SCIENCE
OF SOCCER

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书用简洁易懂的语言讲述足球背后的科学原理。全书包括两部分内容。前半部分运用物理学规律分析足球运动的各种常用技术动作的原理,如踢球、头球、接球、卸球、掷球等。后半部分则涉及足球规则的制定、竞赛理论、最佳球队、球员及其职业生涯,以及足球经济等与足球运动发展相关的广泛的问题。全书的主要部分只需要高中文化水平就可以了解。比较深入的足球物理的数学推导集中放在了最后一章,可供感兴趣的读者深入研究。

本书内容全面、实用,对足球专业人士,包括教练员、运动员、科研人员,以及热爱足球和关心足球的广大足球爱好者,都有一定的参考价值。

The Science of Soccer 1st Edition/by John Wesson/ISBN 0-7503-0813-3

Copyright © 2002 by IOP Publishing Ltd.

Authorized translation from English language edition published by IOP Publishing Ltd, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 IOP 出版公司出版,并经其授权翻译出版,版权所有,侵权必究。

Tsinghua University Press is authorized to publish and distribute exclusively the **Chinese (Simplified Characters)** language edition. This edition is authorized for sale throughout **Mainland of China**. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database of retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由清华大学出版社独家出版并限在中国大陆地区销售,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2013-9334

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

足球的科学/(英)韦森(Wesson, J.)著;清华大学物理系学生足球队译.--北京:清华大学出版社,2014

书名原文: The science of soccer

ISBN 978-7-302-35336-2

I. ①足… II. ①韦… ②清… III. ①足球运动 IV. ①G843

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 021107 号

责任编辑:石磊 赵从棉

封面设计:蔡小波

责任校对:赵丽敏

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

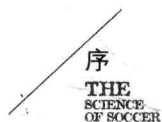
开 本:165mm×240mm 印 张:10 字 数:139 千字

版 次:2014 年 3 月第 1 版 印 次:2014 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:28.00 元

产品编号:052083-01



作为一名专业足球人和清华大学教授，看到我校葛惟昆教授带领物理系学生足球队的同学，共同把《足球的科学》一书译成中文，并由清华大学出版社出版发行，我感到由衷的高兴。

作为世界第一体育运动，足球的魅力和影响都是无与伦比的。但足球并不仅仅是运动，它是文化，是科学，是精神；是国力的彰显、民族的象征！普及和发展足球是一项系统工程，牵涉到经济、教育、体制等诸多方面。特别在中国足球长期落后的现实面前，振兴中国足球受到国家层面的高度重视，也成为全民族的殷切希望。

像任何一项其他的事业一样，足球也需要科学的发展。这当中，以科学的方法和理论去研究足球，探讨足球运动的科学规律，是非常重要而又长期受到忽视的。要想使中国足球

迎头赶上世界先进，必须有更宽广的视野、更强悍的魄力和更科学的措施，要把科学注入到足球发展的系统工程中去。

清华大学作为一个科技重镇，承载着为国家发展培养人才、创造科技的历史使命。足球也在清华人的深切关注之中。刚刚成立的清华大学体育部“中国足球发展研究中心”，就旨在研究和发展科学的足球理念和技术，宣扬科学足球的魅力，集清华的科技和人才优势，为中国足球的发展出谋献策，贡献力量！

《足球的科学》一书的出版，就是我们努力的第一个尝试，是一个从新的视角去观察足球、认识足球的开始。希望本书能得到同行的认可，满足专业人士和热爱足球运动的青少年的需要，并对我们的训练、比赛和俱乐部运营产生积极的影响，最终有助于促进中国足球的发展，圆我们数代人实现足球强国的中国梦！

清华大学体育部“中国足球发展研究中心”主任、教授

孙葆洁

2014年1月于清华园



译者序

THE
SCIENCE
OF SOCCER

十多年前的 2002 年，我到美丽的苏格兰城市爱丁堡参加两年一届的“国际半导体物理会议”，无意间在售书处发现了这本英国物理学家撰写的《足球的科学》。当时感到喜出望外，也十分惊讶。没想到有这样的专著来研究我所钟爱的足球。当时我在香港科技大学物理系任教，是大学大陆学生学者足球队的教练；虽已年届花甲，仍每周参加两次练习，在球场上和年轻人一起享受足球的快乐。从小热爱足球，痴心不改，于是马上买下此书，准备介绍给同好和更专业的人士。

但是当时联系了内地的报刊出版单位，似乎得不到响应，也就一直限于朋友间小范围交流。2008 年我从香港退休，来到清华大学物理系任教，又担任系学生足球队的教练。发现清华的同学全面发展，不但业务好，体育也棒，足球更是孩子们的最

爱。他们既热爱运动,也具有科学的头脑。当我向系队的同学们介绍这本书之后,马上得到非常积极的响应,他们表示愿意利用业余时间把它翻译成中文,为中国足球的科学发展贡献绵薄之力。同时清华大学出版社也慧眼识珠,积极支持本书的翻译出版。

这本书的前半部分,讨论足球运动的物理学和统计规律,但基本上停留在定性的说明,留到篇幅最大的最后一章才详细给出足球物理的数学推导。所以全书的主要部分只需要高中的文化水平就可以了解,而最后一章又给具有物理基础的读者留下深入探讨的空间。除了物理之外,本书讨论了足球规则的制定、竞赛理论、球队和球员,以及足球经济等与足球运动发展相关的广泛的课题。所以它对足球专业人士、教练员和运动员、科研人员、足球专业的教师和学生,以及热爱足球和关心足球的广大读者群,都有相当的参考价值。

本书的翻译出版,也正值清华大学体育部成立“中国足球发展研究中心”之际。中心主任、我国著名“金哨”、国际级足球裁判孙葆洁教授,对本书的翻译出版给予了热情的关注和支持。孙葆洁教授本人对足球运动、特别是裁判规则,有深刻的见解。他认为足球规则的变革,适应了足球运动本身的发展,鼓励进攻、推崇技术、强调整体;足球的规则与比赛实践互相推动、相辅相成,促进了足球运动的现代化。

中国足球的振兴,已经成为民族的追求、国家的梦想,寄托着习近平总书记的殷切期望。用科学发展的思想指导足球运动,以科学的态度研究和对待足球,把科学的内涵渗透到足球的训练、比赛、球员培养、俱乐部运营、联赛规则、管理体制等各个方面,是足球运动发展的必然规律,也是我们要迎头赶上、后来居上的唯一捷径。如果我们真正贯彻科学足球的理念和实践,那我们就能在足球发展中形成中国特色,达到事半功倍的效果,使足球运动在中国更有效、更快速地进步,直到站在世界的前列。

本书的翻译者都是清华大学物理系的本科学生,以系足球队长、9 字班戴彬同学为主。9 字班吴谣和刘一锋同学分别翻译了第 1 章和第 3 章,0 字班何家骥同学翻译了第 9 章,其余都是戴彬翻译的。我和葛澄负责全书的审校。

本书的出版得到清华大学出版社、特别是理科部主任石磊先生的支持和帮助，以及我曾工作过的中山大学理工学院的赞助，在此一并致谢。

香港科技大学荣休教授

清华大学物理系教授

葛惟昆

2014年1月于清华园



前言

THE
SCIENCE
OF SOCCER

足球毫无疑问是世界第一运动。全世界数百万人踢足球,更有数亿人在现场或电视机前欣赏足球。尽管如此,关于足球的科学方面却几乎无人谈及,更不用说去讨论和研究了。这和其他一些运动正相反,那些运动受到多得多的重视,特别像高尔夫球。

就足球而言,“科学”意味着什么呢?本书基本上处理两个方面的问题。第一方面是“硬科学”,主要就是应用物理学原理,来解释足球运动的基本规律,从对踢球的相对简单的力学的理解,到关于球体运动的相当复杂的流体力学。第二方面涵盖面比较宽广。对于足球比赛的结果、特别是说明对于哪个球队可以获得冠军或奖杯,机遇有一定的影响。得胜的球队一定就是那个最好的球队吗?我们要统计运动员的最佳表现与他们年龄的关系,还要探讨足球运动员的最佳身高,以及,出乎意料的,一年中

足球运动员出生的最好时节。进而我们还要讨论对规则的分析,各种关于踢球
的理论,以及专业足球的运营经济方面。

在本书的前9章里,上述课题的论述都没有用数学。其背后的数学分析
留到第10章,也是最后一章。本书的绝大多数内容都是第一手的,但在许多
领域,没有其他人的帮助,作者是不能完成的。我要感谢戴维·顾戴尔(David
Goodall)为足球的碰撞和飞行所做的实验,以及他和克里斯·劳利(Chris
Lawry)所做的实验,从而得到足球的阻力曲线。球场上的实验是在米基·
路易斯(Mickey Lewis)和牛津青年联队的帮助下进行的。我对足球所用球
的发展的了解得益于与米特(Mitre)公司邓肯·安德森(Duncan Anderson)
的讨论,同时关于俱乐部财务的信息,我是从德勤(Deloitte and Touche)律
师事务所所编制的“足球财务年度报告”中获取的。

我要感谢英国皇家物理学会出版社(IOP)的责任编辑约翰·纳瓦斯
(John Navas),没有他的认可和鼓励,这本书难见天日。杰克·康诺(Jack
Connor)和约翰·哈德威克(John Hardwick)阅读了本书文稿,并提出很多有
用的建议,也在此表示谢意。本书使用了、而且实际上依赖于许多插图,它们
都是斯图亚特·莫里斯(Stuart Morris)绘制的。我对他的技巧和不懈的支持
深表谢意。最后,我必须感谢琳达·李(Linda Lee),她不仅认真细致地打印
了手稿,而且还完成了许多修正和重写的任务。

John Wesson

2002年1月

目录

THE
SCIENCE
OF SOCCER

第1章 球和球的反弹 // 1

第2章 踢球 // 13

第3章 抛掷,头球,击球,接球,
卸球,踩球 // 23

第4章 飞行中的足球 // 31

第5章 规则 // 51

第6章 竞赛理论 // 61

第7章 最佳球队 // 75

第8章 球员 // 87

第9章 足球经济 // 99

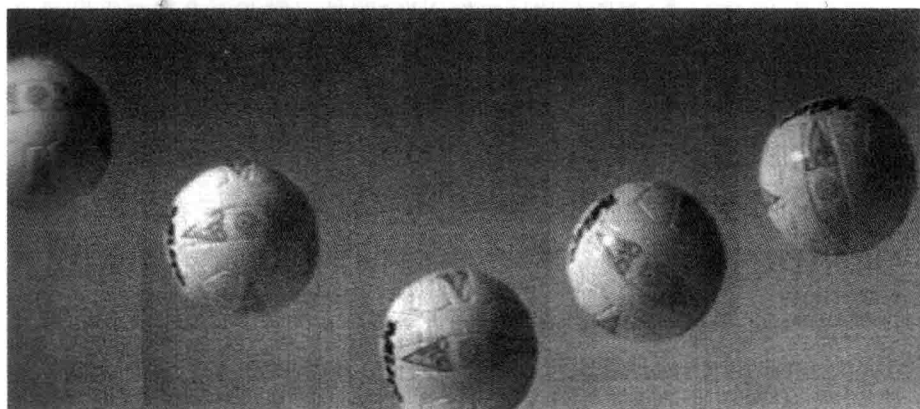
第10章 数学 // 107

参考书目 // 144

第1章

chapter 1

球和球的反弹



足球

类球物体已经被我们用竞争性的方式踢了几千年了。不难想象：一个男孩踢着一个如同石头的东西，而他的伙伴们则和他争抢着。然而足球的成功有赖于现代足球的引入——它必须有精心挑选的大小、重量和反弹特性。

当足球在 19 世纪被发明时，它由皮革和它里面塞着的一个牛或猪的膀胱制成。通过皮制外包的缝隙向膀胱充气，充满气后再用系带把缝隙处扎紧。虽然这种构造已经是一个极大的进步了，但是足球良好的外形仍依赖精细的制作工艺，而且随着使用，球会慢慢变形。很快动物膀胱就被橡胶制“膀胱”取代，但是皮革的使用一直到 20 世纪 60 年代才被淘汰。

用皮革作为外包材料的主要不足在于它的吸水性。吸水后就容易吸附粘土，足球可能变成原来的两倍重。我们可以想象这样一幅情景：一个足球带着它裸露在外面的系带向我们飞驰而来，等着人们用头去顶。

20 世纪 80 年代末，多层外包技术被引进，而且一种完全人造合成的球发展了起来。多层合成纤维外面覆盖着一层聚合而成的光滑表面材料，而球由里面的乳胶气囊撑起来。由于这种球可以防止水的吸附，所以比较可靠地维持着原有的形状。

高质量足球的外包由面板结构组成。这些面板结构单元有各种形状，用它们做外包时事先在面板上穿好缝孔，然后用涂有防水的蜡质的丝线把这些面板缝起来，这一过程可能需要行针 2000 余次。系带早就没了，现在通过外包上的一个细小的孔给足球充气。这样的足球几近完美。

对足球的一般要求是明显的。首先，它不能太重以至于不能踢，或者太轻而到处飘，或不好携带；其次，它不能太大而不好移动，或者太小而不易控制；在 1872 年确定了最合适的直径约为脚的大小。经过反反复复的试验后，可喜的是现在的足球大小基本合乎足球赛事的规则。

按规定，“足球的周长应该介于 27~28 英寸之间，重量应该介于 14~16

盎司之间,内压在 0.6~0.8 个大气压之间”。因为一个大气压为每平方英寸 14.7 磅,所以这个气压相当于每平方英寸 8.8~16.2 磅。(通常被说成每平方英寸 8.5~15.6 磅,源于转换单位时的不精确。)

从科学的角度看,要求这样低的气压有点滑稽。因为只要使球的气压低于一个大气压,就会使它塌缩。即使是 1.1 个大气压,足球也是一个相当松软的东西。当然了,事实上规则所要求的是内外压强有差别,内压应该等于 1.6~2.1 个大气压。

计算球的行为需要考虑它的质量,我们知道球的质量和它的重量有关,而一个给定质量的物体的重量可以认为就是重力。这两个量的名字相当地令人迷惑,一磅的质量被认为有一磅的重量。然而我们不必为此而烦恼,只要认为足球的质量介于 0.875~1 磅或者 0.40~0.45 千克即可。

明白压强的机理是很有趣的,尽管当分析球的行为时这并不在我们考虑的范围内。空气由被称为分子的极小的粒子组成,10 万个空气分子紧密地排列着也只相当于一根头发那么粗。事实上分子占的空间很小,而分子的数量很大,在 1 立方米空气中有 4×10^{20} 个分子,然而大多数空间是空的,分子只占 1/1000 的体积。

这些分子是运动的,它们的速度超过巨型喷气机。每个分子以约每小时 1 英里的速度随机地向各个方向运动,因此分子不停地互相碰撞。而紧贴着足球外皮的分子也和外皮互相碰撞着,正是这些给予外皮的碰撞产生了表面的压强并维持着足球的坚硬。

足球内外的分子速度相同,而内压比外压大是因为球内单位体积内的分子数比球外大。这就是向足球打气的缘由——使球内单位体积内分子数变大。因此,足球内部向外的压强产生于足球内表面比外表面受到更多分子的碰撞。

反弹

反弹似乎是如此的自然,以至于不需要什么解释。当固体球反弹时,是组

成球的物质的弹性使然。这同样可以应用于高尔夫球和壁球。但事实上一个足球的外皮是没有弹性的，当一个没打气的足球掉在地上时，它只会一动不动。正是球内更大的压强使得球具有了弹性进而产生反弹，而且使得足球被踢时有反应。事实上球从脚上反弹回来，当踢得适合时可以达到超过每小时 80 英里的速度。进一步讲，一个头顶回的球显然依赖于前额的反弹。我们之后会探讨这些问题，首先让我们看一下比较简单的事情——反弹本身。

先分析反弹的机理，看看反弹过程中包含了哪些力。我们会发现：反弹的过程是由确定足球大小、重量和压强的三个规则简单地决定的。反弹过程的基本几何图形示于图 1.1。每幅图展示了在垂直反弹过程中球的具体状态。在球与地面接触后，和地面紧靠的球的外皮变平的区域逐渐变大，直到球静止。然后球的速度被翻转。随着球的上升，球与地面接触的区域逐渐减少，直到球离开地面。



图 1.1 反弹过程中足球的一系列状态演示。

或许我们会认为由于球的变形导致的压强的改变对反弹很重要，事实上不是这样。为了澄清这一点，我们将先检测确实发生的压强变化。

压强变化

很显然，在与地面接触之前整个球体内压强还是均匀的。当接触地面时，球的底部就会变平，这种变形会使变平部位的压强变大。然而，这种变大很快就会以音速——每小时 770 英里的速度重新分布于球内整个区域，使其重新达到均匀。这就意味着声音以大约 0.001 秒穿越足球，因此这足够快使得球在反弹过程中维持压强几乎均匀。

反弹机理

如图 1.2 所示,在球没有变形时,内表面任何部位的压强由与之对称部位表面上的压强抵消。因此,正如所料,球上没有合力。然而,当球与地面接触时,额外的力就会起作用。足球的球皮给地面一个压力,根据牛顿第三定律,地面会给足球一个等大、反向的力。有两种方式来看待这个合力。

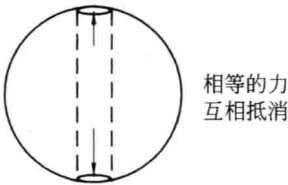


图 1.2 对称表面上的压强相互抵消。

第一种,比较直观的看法,可以说正是地面给以足球向上的力使得足球先向下减速,然后向上加速,因此产生了反弹。在这种描述中,外皮上变形部位的气压仍由相对称的部位上的气压抵消,如图 1.3(a)所示。在第二种描述中,我们说在与地面接触的球皮上没有外力,球内过度的气压产生的力抵消了地面给球的力。如图 1.3(b)所示,现在使得反弹产生的力是由未均衡的大气压在与地面接触的外皮对称的区域上产生的。这两种描述同样有效。

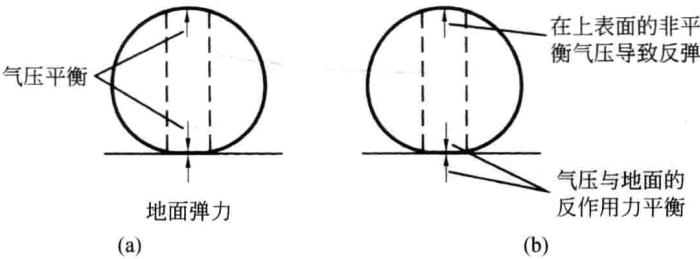


图 1.3 对反弹过程中的力学平衡的两种描述。

因为施予足球的力正比于和地面接触的面积,而接触面积本身由地面到球心的距离决定,由此可以计算足球的运动。结果示于图 1.4,它给出了球心的距离随着时间的变化。

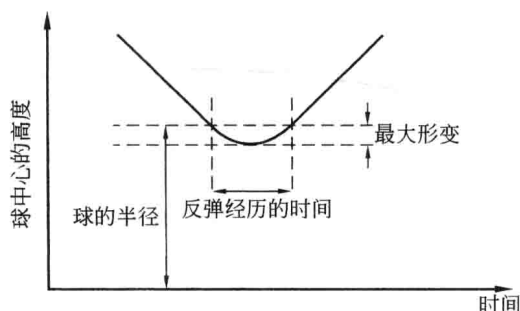


图 1.4 反弹过程中球的运动。

正如我们预期的,计算过程包含球的质量、半径和球内外的压强差。正是这些物理量根据球的运动规律而被规范化了。或许我们会惊讶这里仅仅包含这些物理量就足够了,而球的运动规律则足以决定反弹过程的长短,使之只有百分之几秒。这甚至比电视形成画面的时间还要短,一次在电视转播中球与地面的极短暂的接触经常会被漏掉。所幸我们的大脑会补充这个空隙。

除了一些小的修正外,反弹的时间历程与球速无关。球速更快时形变会更大,但是会受到更大的力,这意味着加速度更大,所以这两种效应抵消。在反弹过程中球受到的力很大,对一个以每小时 35 英里的速度落到地上的球来说,它所受到的地面的弹力会达到 1/4 吨——约为足球重量的 500 倍。

在反弹的前半过程,和地接触的面积会逐渐增加,因此向上的力也逐渐增加。在形变最大的时刻,受力最大,球的垂直速度瞬间为零。之后,开始一个反过程,和地接触的面积会下降,而且随着球离开地面,它从地面所受到的力也渐变为零。

如果足球是理想弹性的,而且地面是完全刚性的,垂直反弹前后球的速度应该是相同的。事实上反弹后瞬间球的速度会比之前略小,因为在形变过程中球会损失一部分能量。损失的这些能量会使足球略微变热。在反弹过程中